

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR PALOTINA  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM BIOCOMBUSTÍVEIS

**DESEMPENHO DA RECENTRIFUGAÇÃO CELULAR  
NO PROCESSO DE FERMENTAÇÃO DE ETANOL  
BIOCOMBUSTÍVEL EM ESCALA INDUSTRIAL**

Aluna: Edilene N. de Campos  
Orientador: Prof. Dr. Dile P. Stremel  
Coorientador: Prof. Luis Fernando S. Gomes

PALOTINA – PR  
Dezembro de 2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR PALOTINA  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM BIOCOMBUSTÍVEIS

**DESEMPENHO DA RECENTRIFUGAÇÃO CELULAR  
NO PROCESSO DE FERMENTAÇÃO DE ETANOL  
BIOCOMBUSTÍVEL EM ESCALA INDUSTRIAL**

Aluna: Edilene N. de Campos  
Orientador: Prof. Dr. Dile P. Stremel  
Coorientador: Prof. Luis Fernando S. Gomes

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso Superior de  
Tecnologia em Biocombustíveis –  
UFPR/Setor Palotina, como requisito  
parcial para obtenção do grau de  
**Tecnólogo em Biocombustíveis.**

PALOTINA – PR  
Dezembro de 2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR PALOTINA  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM BIOCOMBUSTÍVEIS

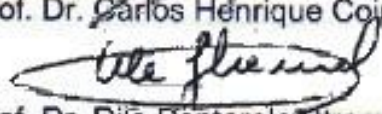
DESEMPENHO DA RECENTRIFUGAÇÃO CELULAR NO PROCESSO DE  
FERMENTAÇÃO DE ETANOL BIOCOMBUSTÍVEL EM ESCALA INDUSTRIAL

Acadêmica: Edilene N. de Campos  
Orientador: Prof. Dr. Dile P. Stremel  
Coorientador: Prof. Luis Fernando S. Gomes

O PRESENTE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO FOI  
APRESENTADO E EPROVADO PELA SEGUINTE BANCA  
EXAMINADORA :

  
Prof. Luis Fernando Souza Gomes

  
Prof. Dr. Carlos Henrique Coimbra Araújo

  
Prof. Dr. Dile Pontarelo Stremel  
Orientador

PALOTINA- PR  
Dezembro de 2013

“É muito melhor arriscar coisas grandiosas, alcançar triunfo e glória, mesmo expondo-se à derrota, do que formar fila com os pobres de espírito, que não gozam muito e nem sofrem muito, porque vivem na penumbra cinzenta que não conhece nem a vitória nem a derrota.”

**Theodore Roosevelt**

## DEDICATÓRIA

A minha formação como profissional não poderia ter sido concretizada se não fosse:

Primeiramente a Deus, me fazendo acreditar em mim mesma, mostrando o potencial que tenho, mesmo quando já não acreditava mais em minha capacidade, reavivando toda a esperança que havia dentro de mim.

De forma especial aos meus falecidos pais, Maria da Silva de Campos e Zeno Nascimento de Campos, mesmo não estando presente fisicamente se fazem vivos em meu pensamento.

Aos meus irmãos, Edina, Edson e Jaderson que me deram amor, carinho, sempre confiaram em mim e me apoiaram. Que sempre possamos continuar unidos.

Ao meu namorado Diego Mariani, pela força e confiança depositado em mim todo esse tempo.

Com carinho aos meus tios, primos e amigos pela paciência e compreensão de minha ausência.

## AGRADECIMENTO

Aos meus pais que foram um exemplo de honestidade e simplicidade. Tudo que tenho e sou devo a eles, que me deram educação e me ensinaram a ter coragem, força e fé para enfrentar e seguir as dificuldades que a vida me preparava. Mesmo não tendo a oportunidade de presenciar a concretização deste sonho tenho certeza de que me ajudaram, me apoiaram e torcem pela minha vitória de onde quer que eles estejam.

Meus irmãos Edson, Jaderson e em especial a Edina Campos que foi como uma mãe pra mim, me apoiando financeiramente e emocionalmente me dizendo palavras de conforto “ Você vai conseguir...; Você é capaz...” Simples frases que me fizeram acreditar e me motivar cada vez mais.

Ao meu namorado, Diego Mariani, que apareceu com um anjo em minha vida dedicando muitas horas de seu tempo para ficar pelas estradas me acompanhando, ajudando a me locomover de uma cidade a outra nessa etapa de extrema importância em minha vida, pois se não fosse a sua ajuda essa etapa seria ainda mais difícil de delicada. Obrigada por sempre estar me passando muito carinho, tranquilidade e atenção.

A todos os meus colegas e amigos, mas em especial a Suélen Pujarra que esteve presente em toda essa etapa acadêmica, foram muitas risadas, conversas, diversão, trabalhos, festas, enfim... estava sempre ao meu lado, me dando força e incentivo para continuar nos momentos bons e ruins.

A meu orientador Dile P. Stremel, que abriu vários caminhos para me tornar uma profissional mais qualificada, dedicando seu tempo e me dando orientações que foram de suma importância para a conclusão deste trabalho,

Ao coorientador Luis Fernando e também todos os professores da Universidade Federal do Paraná, pois o que sei, foram graças ao esforço e dedicação desses grandes mestres.

A Usina Santa Terezinha que abriu as portas, liberando dados para que eu pudesse realizar este trabalho, contribuindo para que expandisse meus

conhecimentos, ganhando mais experiência na minha formação acadêmica e em especial aos Colaboradores do setor da destilaria que me acolheram com muito carinho e dedicação, tendo paciência para me ensinar e explicar o que na teoria não aprendemos.

E a todos não listados a cima, mas que fizeram parte e contribuíram para minha formação acadêmica e pessoal, ficam aqui os meus sinceros agradecimentos... Muito obrigada!

## SUMÁRIO

<b>DEDICATÓRIA .....</b>	<b>IV</b>
<b>AGRADECIMENTO .....</b>	<b>V</b>
<b>SUMÁRIO .....</b>	<b>VII</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>IX</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS ABREVIATURAS.....</b>	<b>x</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>XI</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>3</b>
2.1 ETAPAS DA PRODUÇÃO DO ÁLCOOL COMBUSTÍVEL A PARTIR DA CANA- DE-AÇÚCAR.....	3
2.1.1 Tratamento do caldo.....	4
2.1.2 Fermentação alcoólica .....	4
2.1.3 Destilação.....	6
2.2 CENTRIFUGAÇÃO .....	7
<b>3 OBJETIVOS.....</b>	<b>9</b>
3.1 OBJETIVOS GERAIS.....	9
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	9
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>10</b>
4.1 CÁLCULOS UTILIZADOS .....	17
4.2 INICIO DA FERMENTAÇÃO .....	18
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>19</b>
5.1 DORNA DE FERMENTAÇÃO .....	19
5.1.1 Viabilidade celular .....	19
5.1.2 Número de células vivas .....	20
5.1.3 Número de células mortas.....	21
5.2 FERMENTO CENTRIFUGADO.....	22
5.2.1 Perda de fermento.....	22
5.3 TRATAMENTO FINAL DO LEVEDO.....	24



5.3.1 Teor alcoólico .....	24
5.3.2 Viabilidade celular .....	25
5.3.3 pH.....	26
5.3.4 Número de células vivas inicial .....	27
5.3.5 Número de células mortas.....	28
5.4 PARÂMETROS DO PROCESSO.....	29
5.4.1 Rendimento da fermentação .....	29
<b>6 CONCLUSÃO .....</b>	<b>32</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>33</b>

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Esquema geral do processo Melle-Boinot .....	8
FIGURA 2 - Processo de fabricação do álcool combustível por apenas centrifugação. ....	10
FIGURA 3 - Centrifugas utilizadas no processo. ....	12
FIGURA 4 - Partes dos rotor: Centro (a) e Parede (b). ....	12
FIGURA 5 - Diferentes tamanhos de boquilhas. 1.2 mm (c); 1.3 mm (d); 1.45 mm (e); 1.6 mm (f); 1.8 mm (g); 2.2 mm (h); 2.4 mm (i). ....	13
FIGURA 6 - Discos cônicos. ....	14
FIGURA 7 - Saídas do vinho e do fermento. ....	14
FIGURA 8 - Diferença entre o fermento centrifugado (à direita) do fermento recentrifugado (à esquerda) .....	15
FIGURA 9 - Fluxograma de produção do álcool com adição da etapa de recentrifugação. ....	16
FIGURA 10 - Boca de descarga do fermento centrifugado. ....	16
FIGURA 11 - Tratamento final do levedo na cuba 2. ....	17
FIGURA 14 - Quantidade de células mortas presentes na fermentação. ....	22
FIGURA 15 - Perda de fermento em porcentagem entrando na dorna volante .....	23
FIGURA 17 - Viabilidade celular no tratamento final do fermento .....	25
FIGURA 18 - pH presente no tratamento final do fermento .....	26
FIGURA 19 - Quantidades de células vivas após o tratamento final .....	28
FIGURA 20 - Número de células mortas no tratamento final do levedo .....	29
FIGURA 21 - Produtividade de álcool referente à safra de 2003/2004 .....	30
FIGURA 22 - Rendimento da fermentação referente à safra de 2003/2004 .....	31

## LISTA DE SÍMBOLOS ABREVIATURAS

Brix	Concentração de sólidos dissolvidos
°C	Grau célsius
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
pH	Potencial Hidrogeniônico
%	Porcentagem
SO <sub>2</sub>	Dióxido de enxofre
°GL	Gay-Lussac
m <sup>3</sup> /h <sup>-1</sup>	Metros cúbicos por hora
CV	Cavalos de vapor
CF	Centrífugas
RPM	Rotação por minutos
Kw	Quilowatts
mm	milímetro
$P_{\text{etanol}}$	Produtividade de etanol
$C_{\text{etanol}}$	Concentração de etanol
$t$	Tempo
Kg	Quilograma
g	gramas
kl	Quilolitros
ml	mililitros
Ton	Toneladas
h	Horas
$v v^{-1}$	volume por volume
$Y_{P/S}$	Fator de conversão etanol/substrato
ART	Açúcares Redutores Totais
EtOH	Teor alcoólico do meio fermentado
ART <sub>MOSTO</sub>	teor de Açúcares Redutores Totais do mosto
ART <sub>VINHO</sub>	teor de Açúcares Redutores Totais do meio fermentado

## RESUMO

A centrifugação utilizada no processo de produção do álcool combustível consiste em fazer a separação da fase pesada da fase leve por diferença de densidade pela força gravitacional, onde o fermento, mais denso que o vinho, é forçado para fora do rotor através das boquilhas de descarga. E o vinho, fase leve, é deslocado para o centro do rotor e impulsionado para fora da centrifuga através do coletor localizado no topo do rotor. As centrifugas utilizadas possuem uma vazão de  $90 \text{ m}^3/\text{h}^{-1}$ . O presente trabalho teve o objetivo de avaliar a importância e os benefícios trazidos pela adição da etapa de recentrifugação do fermento. O levantamento de dados foi realizado na Usina Santa Terezinha Unidade de Ivaté-PR, setor da destilaria, referentes às safras de 2002/2003 e 2003/2004, onde os dados foram condensados por mês. Com os resultados obtidos observou-se que a recentrifugação trouxe melhorias no processo, principalmente na qualidade da levedura, onde houve diminuição no teor alcoólico no tratamento do levedo, na quantidade de células mortas presentes na fermentação e no tratamento do levedo, do pH, elevação na quantidade de células vivas presentes na fermentação e melhoria na viabilidade celular. Conferindo melhoria na qualidade da levedura e consequentemente trazendo melhores conversões em álcool.

**Palavras-chave:** recentrifugação celular, fermentação alcoólica, bioetanol.

## 1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho de conclusão de curso é composto por uma revisão bibliográfica realizada através de buscas em acervos eletrônicos, teses, dissertações, artigos publicados, revistas e livros, fornecendo explicações de todos os dados necessários ao entendimento deste trabalho. Materiais e métodos, onde são mostradas a metodologia e funcionamento do processo utilizado pela usina Santa Terezinha. E discussão dos resultados obtidos após processados todos os dados e obtenção dos gráficos. E por fim a conclusão.

O uso de biocombustíveis vem sendo estudado e crescendo gradativamente, em busca da diminuição de emissões de gases poluentes e do efeito estufa. Sendo um exemplo de biocombustíveis o etanol.

O etanol pode ser obtido por diferentes matérias primas, a mais utilizada hoje no Brasil é da cana-de-açúcar que já tem seu processo de produção definido, desde o recebimento da cana até a destilação do vinho para a produção de álcool hidratado ou álcool anidro. As etapas do processo se resumem em: recepção; limpeza da cana; moagem; extração e tratamento do caldo; preparo do mosto; fermentação; centrifugação e destilação.

Todas essas etapas são indispensáveis para que se tenha um produto de boa qualidade, devido a isso se dá a relevância de conhecer e estudar todas as etapas do processo.

Como exemplo a centrifugação do fermento, etapa de grande importância para o processo conferindo ao fermento uma melhor qualidade, sendo assim possível reutilizá-lo no processo.

A etapa de centrifugação consiste em separar a fase sólida da fase líquida por diferença de densidade, ou seja, a fase sólida, o fermento, é mais denso que a fase líquida, que é o vinho. Depois de separado, o vinho vai para a destilação produzindo álcool anidro ou hidratado, e o fermento será utilizado como inóculo para uma nova fermentação.

A etapa adicional que atualmente vem sendo utilizada por poucas usinas é a recentrifugação do fermento, oferecendo melhor qualidade ao mesmo, ajudando na diminuição de bactérias contaminantes, conferindo-lhe melhor concentração,

conseguindo retirar mais vinho para ser destilado, conseqüentemente aumentando a produção de álcool.

Esta etapa de recentrifugação ainda requer maiores estudos para avaliar sua eficiência e ganho operacional. Para isto propôs-se neste trabalho uma análise dos dados coletados anteriormente visando obter informações sobre este processo, correlacionando com informações importantes como rendimento e produtividade.

Para realização deste trabalho a Usina Santa Teresinha, unidade IV em Ivaté-PR colaborou com a disponibilização dos dados e imagens.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Com a grande demanda mundial em busca de energia, surge a necessidade de se recorrer a outras fontes energéticas para que haja menor dependência de fontes não renováveis, como o óleo diesel e gasolina. Os biocombustíveis aparecem para suprir essa demanda, tomando como exemplo o etanol. Segundo Oliveira (2012, p. 3) “[...] o etanol se tornou uma alternativa consolidada, principalmente no Brasil que já é referência mundial na produção de energia renovável e poderá se destacar ainda mais [...]”.

O álcool pode ser obtido por duas vias, a mais utilizada hoje no Brasil é a via fermentativa, a outra opção é a síntese química. De acordo com Machado (2006, p. 68), o álcool obtido pela síntese química deixa de ser uma fonte renovável, isso devido sua produção ser a partir de gases de petróleo, hulha e hidrocarbonetos insaturados como eteno e etino.

Para a obtenção do álcool tem uma gama de opções em matérias primas, podendo serem elas as: amiláceas, como exemplo a batata, mandioca e milho; as celulósicas, sendo madeira e resíduos agroindustriais; e sacarinas, como a beterraba açucareira e a cana-de-açúcar, sendo esta, a fonte mais utilizada no Brasil (MACHADO, 2006).

### 2.1 ETAPAS DA PRODUÇÃO DO ÁLCOOL COMBUSTÍVEL A PARTIR DA CANA-DE-AÇÚCAR

A produção do álcool combustível a partir da cana-de-açúcar já tem suas etapas definidas, desde o recebimento da cana até a destilação do vinho. De modo simplificado as etapas preliminares, são: Corte da cana-de-açúcar; Recepção da cana-de-açúcar; Preparo da matéria prima para moagem; Extração do caldo; Tratamento do caldo, fermentação, centrifugação e destilação (FILHO, 2012), sendo os quatro últimos detalhado a seguir.

### 2.1.1 Tratamento do caldo

Essa é uma etapa de grande importância, pois tem como objetivo deixar o meio propício para posterior atuação das leveduras na etapa de fermentação, eliminando impurezas, ajustando temperatura e o Brix (MACHADO, 2006).

A presença de impurezas pode trazer danos ao processo, tanto nos equipamentos como no comprometimento do produto final. Devido a isso se faz a retirada desses componentes indesejáveis, podendo ser por meio de tratamentos físico-químicos, como calagem e peneiramento (BASETTO, 2006).

Para impurezas solúveis como: não-açúcares orgânicos e inorgânicos em suspensão, tratamento térmico bacteriológico e emulsificação de graxas e ceras se faz a calagem. Já para impurezas insolúveis como: areia, argila, bagacilho entre outros tipos que possam estar presentes no meio utiliza-se o peneiramento (OLIVEIRA, 2012).

O caldo é aquecido a uma temperatura de 105 °C, após e feita à decantação e posterior é pré-evaporado a 115 °C. No aquecimento do caldo a 105 °C não se faz a adição de nenhum produto químico, e após a essa etapa de aquecimento ele é chamado de caldo clarificado (FILHO, 2012). A pré-evaporação do caldo clarificado serve para evaporar a água concentrando o caldo em aproximadamente 10° Brix, elevando de 20° a 30° Brix (BASSETO, 2006).

Esse caldo é resfriado a 30 °C em trocadores de calor e posterior encaminhado para as dornas de fermentação (BASSETO, 2006).

### 2.1.2 Fermentação alcoólica

É o processo que faz a conversão de açúcares como a glicose, frutose e sacarose em energia celular tendo como produção o etanol e gás carbônico através do metabolismo anaeróbio, sendo catalisados por enzimas (CASADEI, 2012).

Segundo Moreira (2008, p. 30), a espécie mais utilizada para fermentação alcoólica é a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, pertencente ao gênero *Saccharomyces*. A levedura tem como objetivo conseguir energia para sobreviver e reproduzir, então faz a quebra do açúcar em etanol, sendo este o subproduto deste processo de obtenção de energia. Essa transformação envolve uma série de reações em sequência ordenada, conhecida como via glicolítica (CASADEI, 2012).



O processo de fermentação ocorre em dornas fechadas, podendo ser também abertas devido à liberação de gás carbônico e calor (BASSETO, 2006).

Primeiramente se faz a preparação do inóculo, também conhecido como pé-de-cuba. Segundo Moreira (2008, p. 30) essa fase seleciona quantidades suficientes de levedura em atividades que assegure a fermentação do mosto na dorna.

Após essa seleção, a levedura é adicionada na dorna e posteriormente adiciona-se o mosto para dar início a fermentação alcoólica.

O Mosto é uma mistura de açúcares e água, onde sofre um pré-tratamento antes de ser adicionada a dorna de fermentação (OLIVEIRA, 2012).

Segundo Moreira (2008, p. 35) e Oliveira (2012, p. 8), o tempo de fermentação ocorre de 4 a 10 horas, após esse período, o açúcar já foi consumido e convertido em álcool havendo também a liberação de gás carbônico que desencadeia a formação de alguns produtos secundários, como os alcoóis superiores, glicerol, aldeídos, cetonas, ácidos entre outros.

Vários fatores como pH, contaminação bacteriana, concentração de substrato, concentração de etanol, oxigênio, temperatura, viabilidade da célula, açúcares, são de extrema importância para a fermentação, pois contribuem para o estresse da levedura quando encontrados com grandes variações. Essas grandes mudanças do meio em que as leveduras enfrentam afetam suas estruturas celulares e as macromoléculas, sendo os principais os lipídios, proteínas e ácidos nucleicos sofrendo modificações estruturais que comprometem suas funções (SOUZA, 2009).

Após o término da fermentação se separa o fermento do vinho delevedurado através do processo de centrifugação, onde o vinho delevedurado será destinado à destilação e o leite de levedura, fermento, será reciclado no processo para ser reutilizado como um novo pé-de-cuba, após diluição em água e acidificação com ácido sulfúrico (SOUZA, 2003).

A separação e recuperação desses dois produtos ocorrem por centrifugas, tendo como objetivo retornar o leite de levedura para a fermentação nas melhores condições possíveis, pois ajuda no controle microbiológico eliminando bactérias (SEJIMO, 2011).

### 2.1.3 Destilação

É um processo de recuperação do etanol, onde ocorre a separação das substâncias presentes no meio por diferença de pontos de ebulição (OLIVEIRA, 2012).

Essas substâncias encontradas no meio podem ser líquidas, sólidas e também gasosas. Segundo Oliveira (2012, p 9) as substâncias líquidas presentes, se encontra a água em maior quantidade, com 89 % a 93 %, o glicerol, aldeído acético, alcoóis homólogos superiores, furfural, ácidos succínico e cético. Já os componentes sólidos, estão os bagacilhos, leveduras e bactérias, açúcares não-fermentescíveis, sais minerais entre outros. E os gasosos, se encontra principalmente o  $\text{CO}_2$  e  $\text{SO}_2$ .

A separação dessas substâncias ocorre por aparelhos denominados colunas de destilação, que possui aparência de um cilindro vertical. Essas colunas são preenchidas por bandeja circulares. O conjunto dessas bandejas é denominado gomo, que se interligam a outros gomos por meio de flanges (SEJIMO, 2011).

A destilação do álcool ocorre de forma que o vinho fermentado, recém centrifugado, entra na parte superior da coluna de destilação de modo constante e o vapor na parte inferior, separando assim o álcool do vinhoto, também conhecido como vinhaça (BASSETO, 2006).

A vinhaça é descartada no processo, podendo ser utilizada como fertilizantes nas plantações de cana-de-açúcar (MOREIRA, 2008). Sendo ela rica em matéria orgânica, nitrogênio, potássio, água e fósforo (MOTOKANE, 2005).

O álcool originado da destilação contém em sua composição a presença de água, atribuindo assim um teor alcoólico de 96 °GL, devido a essa composição binária (álcool e água) é denominado álcool hidratado.

Para a obtenção do álcool anidro é necessário a adição de mais uma etapa de tratamento no processo. Esse tratamento pode ser feito com a adição de ciclohexano ou benzeno ao álcool hidratado, formando uma mistura ternária composta por ciclohexano-água-álcool. Essa composição possui um ponto de ebulição menor que do álcool anidro, sendo este retirado com um teor alcoólico de 99 °GL (MOTOKANE, 2005).

## 2.2 CENTRIFUGAÇÃO

É amplamente utilizada no Brasil e é colocada em prática por volta da década de 30. Tendo como objetivo realizar a recuperação de leveduras, obtendo uma suspensão mais concentrada (LIMA, 2001).

As centrífugas aceleram a sedimentação das células suspensas no meio líquido, através da gravidade por ação de um campo gravitacional centrífugo, dando origem a suspensões mais concentradas, baseando-se na diferença de densidades existentes entre as células e o meio líquido (KILIKIAN, 2005).

Todo o vinho fermentado passa por esse processo de centrifugação para separar o fermento do vinho (LIMA, 2001).

De acordo com Sejimo (2011, p. 13-14), o funcionamento de uma centrífuga ocorre da seguinte forma: um rotor com boquilhas de descarga de sólidos realiza a separação, onde o vinho fermentado é alimentado continuamente no centro do rotor e é distribuído para a periferia deste, por meio do cone de distribuição (SEJIMO, 2011).

A alta rotação que é exercida acaba forçando o vinho fermentado a passar através de discos cônicos, onde é separado pela força centrífuga em uma fase pesada e uma fase leve. A fase mais pesada, o fermento, e uma pequena quantidade de vinho, são forçadas para fora da parede do rotor, através de boquilhas de descarga. O vinho delevedurado, fase leve, é deslocado para o centro do rotor e através de uma abertura no topo do rotor é impulsionado para fora da separadora através do coletor (SEJIMO, 2011).

Após a centrifugação, o fermento passa por um pré-tratamento, com agitação constante, para sua purificação e posterior reaproveitado no processo. O volume de fermento é diluído com o mesmo volume de água e adicionado ácido sulfúrico para fazer a correção do pH (LIMA, 2001).

As vantagens de se utilizar a centrifugação são devido ao fato de não gerar grandes volumes de torta seca, dificultando a assepsia do local e requerendo alta demanda de mão de obra, e por não causarem severos problemas de entupimentos (KILIKIAN, 2005).

Esse processo de ciclagem de células segundo Ribeiro (1999, p. 21) por centrifugação é conhecido como processo de Melle-Boinot. A Figura 1 exemplifica

um esquema geral do processo. Suas principais vantagens segundo Ribeiro (1999, p. 21) e Basseto (2006, p. 35) são:

- Fermentações mais pura, devido ao pré-tratamento ácido do levedo;
- Elevado rendimento alcoólico;
- Maior rapidez da fermentação pelo maior teor de levedo recuperado;
- Álcool de melhor qualidade;
- Diminuição da contaminação bacteriana;
- Menos incrustações nos aparelhos de destilação pela retenção do material orgânico pelas centrifugações.

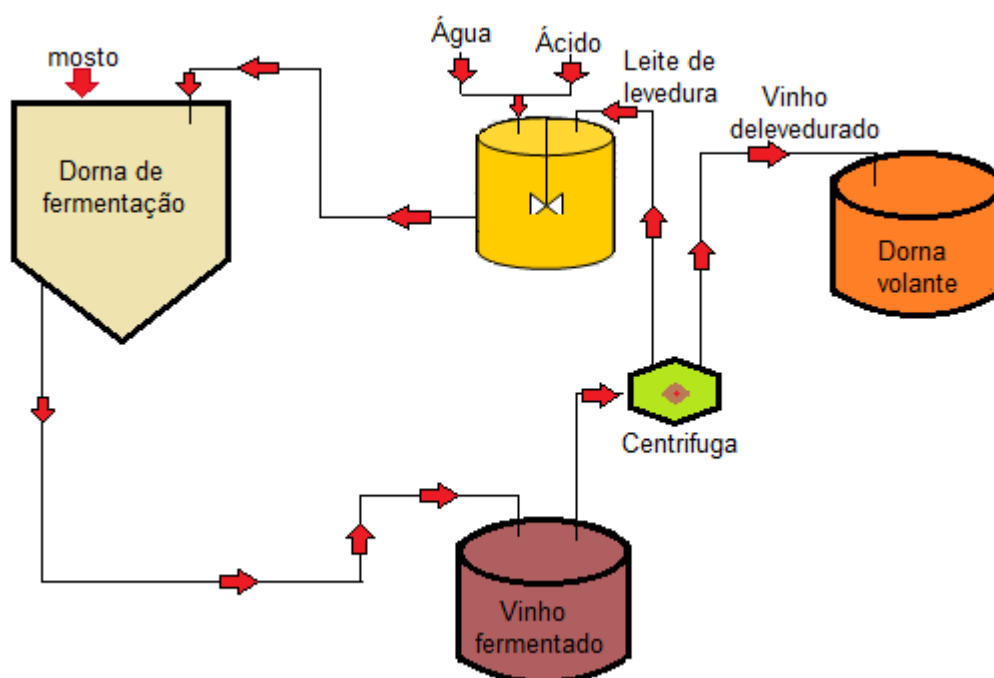


FIGURA 1 - Esquema geral do processo Melle-Boinot

Consiste em fazer a reciclagem de células para as próximas bateladas de fermentações e pré-tratamento do fermento com ácido, conferindo um meio menos contaminado (RIBEIRO, 1999).

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVOS GERAIS**

Avaliar o desempenho da recentrifugação no processo de produção do etanol.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Comparar o período de mudança no processo, safra de 2002/2003 e 2003/2004, analisando os dados obtidos da dorna de fermentação, fermento centrifugado e o tratamento final do levedo;
- Quantificar a viabilidade celular, o número de células vivas e mortas presentes na dorna de fermentação, mostrando se houve aumento ou diminuição;
- Comparar a porcentagem de perda do fermento no vinho centrifugado, safra de 2002, e no recentrifugado, safra de 2003;
- Avaliar no tratamento final do levedo a viabilidade celular, quantidade de célula vivas e mortas presente no processo, o teor alcoólico e o pH do meio;

Analizou rendimento e produtividade do processo de recentrifugação.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

Os dados estudados foram fornecidos pela usina Santa Terezinha, unidade IV, em Ivaté-PR, sendo referentes às safras de 2002/2003 e 2003/2004, sendo estes disponibilizados de forma condensada, média mensal, para melhor serem trabalhados.

A escolha dessas duas safras para serem realizados os levantamentos de dados, se deve ao fato que nessa época houve a mudança no processo de produção do álcool, sendo adicionado mais uma etapa, a recentrifugação do fermento.

A recentrifugação foi introduzida para conferir ao fermento melhor qualidade e maior concentração, trazendo melhorias na produção de álcool combustível. Esse processo consiste em centrifugar o fermento duas vezes antes de ser tratado e reutilizado como pé-de-cuba no processo de fermentação.

A Figura 2 a seguir demonstra sucintamente como funcionava o processo industrial de produção do álcool na usina referente à safra de 2002/2003 quando somente era feita a centrifugação do fermento. Descrever como funciona

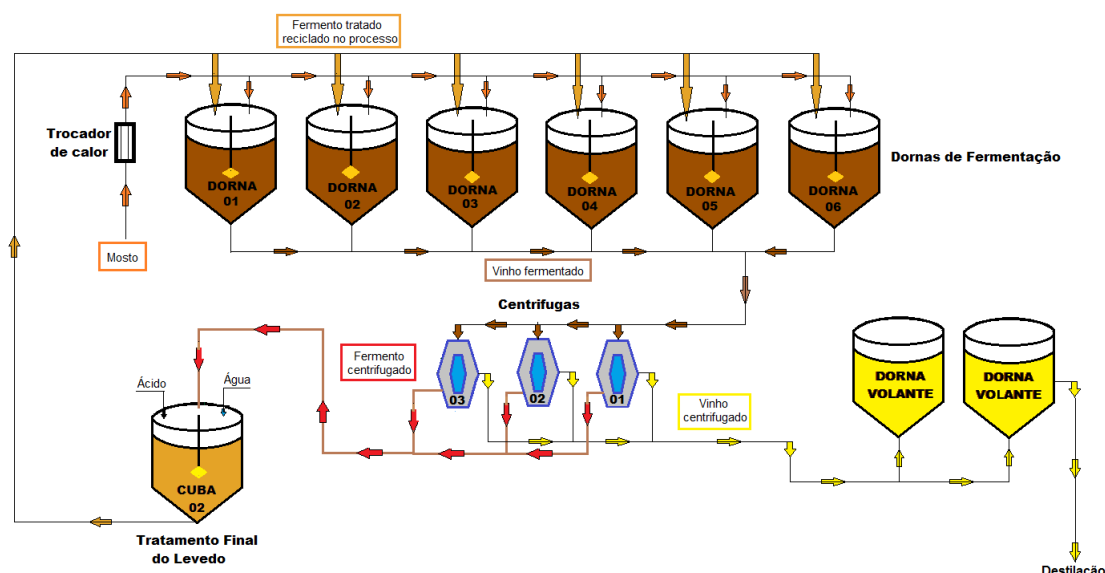


FIGURA 2 - Processo de fabricação do álcool combustível por apenas centrifugação.

O número de centrifugas utilizadas no processo nesta safra eram apenas três centrifugas, como mostra o esquema do Quadro 1, atualmente este número cresceu

para cinco centrífugas. Devido ao fato de ter aumentado a demanda pelo acréscimo da etapa de recentrifugação.

Nem todas as máquinas são utilizadas para se fazer a recentrifugação do fermento, mas todas fazem a centrifugação. O Quadro 1 mostra como é feita essa distribuição.

**QUADRO 1** - Centrífugas utilizadas para as centrifugações

Etapas	Centrífugas				
	CF 01	CF 02	CF 03	CF 05	CF 06
<b>Centrifugação</b>	X	X	X	X	X
<b>Recentrifugação</b>		X	X	X	

FONTE: O autor (2013)

As centrífugas utilizadas são da marca ALFA LAVAL<sup>®</sup> com capacidade de 90 m<sup>3</sup>/h<sup>-1</sup>. A centrífuga CF01 possui motor de 75 CV e ela é do tipo SCM.80.G.010.16.CEP. As centrífugas CF02, CF03 e CF05 é do tipo FESX-S124-35C-60 de eixo horizontal, possui uma velocidade de 1700-1800 RPM e a CF06 é do tipo FESX.7128.35.60 de eixo horizontal de 1430-1500 RPM, potência do motor de 75 kW. As centrífugas utilizadas no processo estão demonstradas na Figura 3.

O processo de funcionamento das centrífugas consiste em fazer a separação dos dois componentes da mistura, fermento do vinho, por diferença de densidades, sendo o fermento mais denso que o vinho. Basicamente as principais partes que compõe as centrífugas, são as boquilhas, discos cônicos e o rotor.



FIGURA 3 - Centrifugas utilizadas no processo.

O rotor consiste basicamente em duas partes o seu centro e sua parede Figura 4. No centro é onde ocorre a alimentação contínua do vinho fermentado (a). Na parede se encontra as boquilhas de descarga de fermento (b).



FIGURA 4 - Partes dos rotor: Centro (a) e Parede (b).

As boquilhas são bicos onde ocorre a passagem da fase pesada, elas variam de tamanho e abertura dos bicos (Figura 5). Quanto menor a abertura dos bicos, mais a máquina consegue concentrar o fermento, pois ela puxa menos vinho fermentado devido à vazão de saída ser baixa.



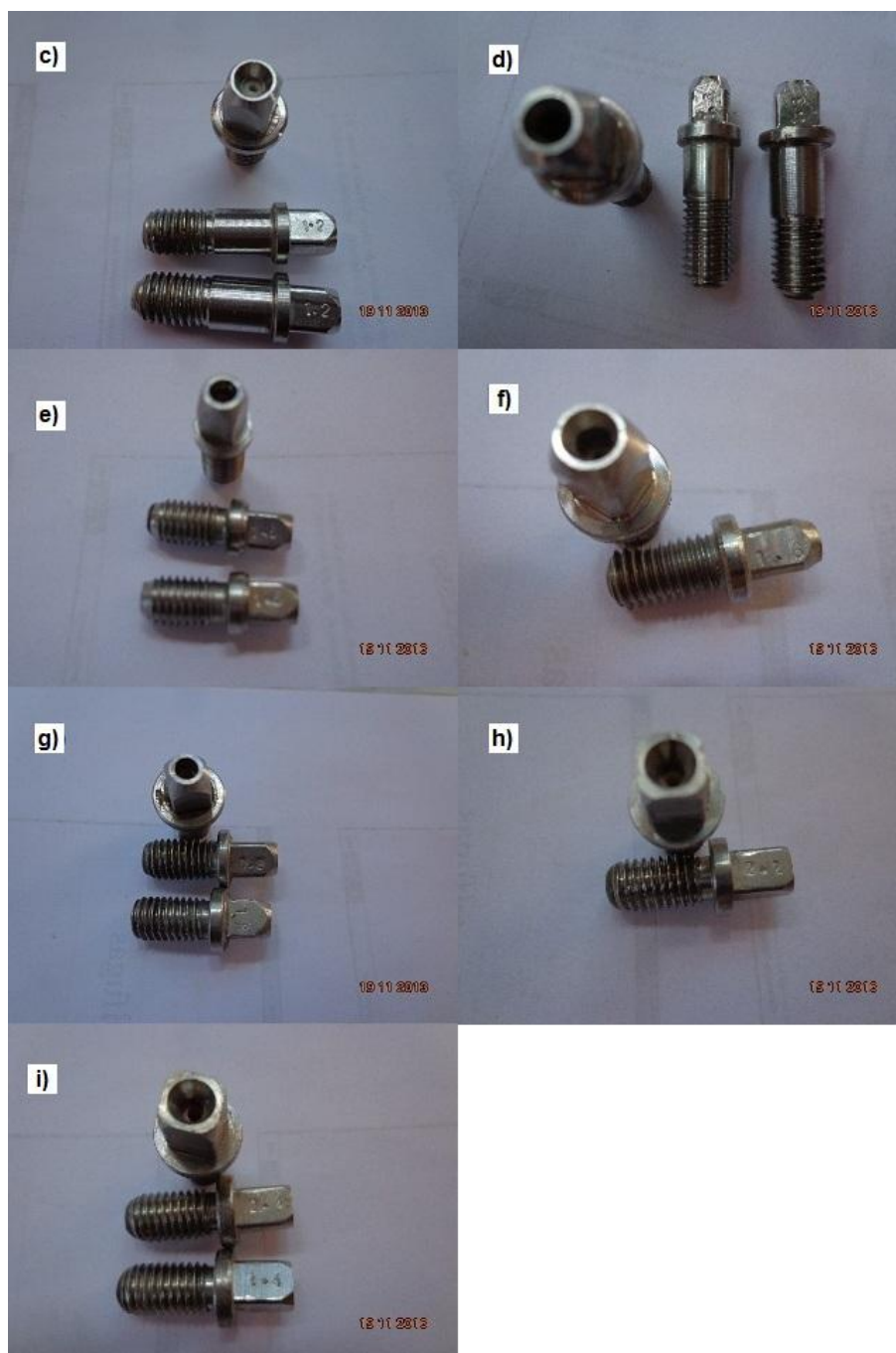


FIGURA 5 - Diferentes tamanhos de boquilhas. 1.2 mm (c); 1.3 mm (d); 1.45 mm (e); 1.6 mm (f); 1.8 mm (g); 2.2 mm (h); 2.4 mm (i).

Os discos cônicos são metálicos possuindo alguns furos. A alta rotação exercida neles força o vinho fermentado a passar pelos discos separando as fases pesada e leve através da força centrífuga (Figura 6).



FIGURA 6 - Discos cônicos.

A fase pesada e uma pequena quantidade de vinho é impulsionada para fora do rotor através das boquilhas de descarga, e o vinho para o centro do rotor onde será mandado para fora da centrifuga através de uma abertura no topo do rotor, como demonstra a Figura 7 a seguir.



FIGURA 7 - Saídas do vinho e do fermento.

A Figura 8 demonstra duas amostras, que são referentes ao fermento centrifugado, amostra mais escura, comparado com o fermento recentrifugado, amostra mais clara.



FIGURA 8 - Diferença entre o fermento centrifugado (à direita) do fermento recentrifugado (à esquerda)

A usina Santa Terezinha unidade de Ivaté-PR optou por se fazer a recentrifugação do fermento, ou seja, centrifugar o fermento duas vezes. Para se melhor entender como ocorre o princípio de funcionamento do processo, a Figura 9 irá demonstrar como funciona o processo de produção do álcool combustível com a adição da etapa de recentrifugação do fermento.

São seis dornas de fermentação em processo descontínuo com recuperação de leveduras, esse processo consiste em reaproveitar o levedo para as próximas fermentações, onde se faz a recuperação das células por centrifugação. Hoje são trabalhadas no processo com cinco centrífugas, mostrado no Quadro 1.

Depois de centrifugado o vinho vai para a dorna volante e posterior encaminhado para as colunas onde sofre a destilação para a produção do álcool anidro ou hidratado.

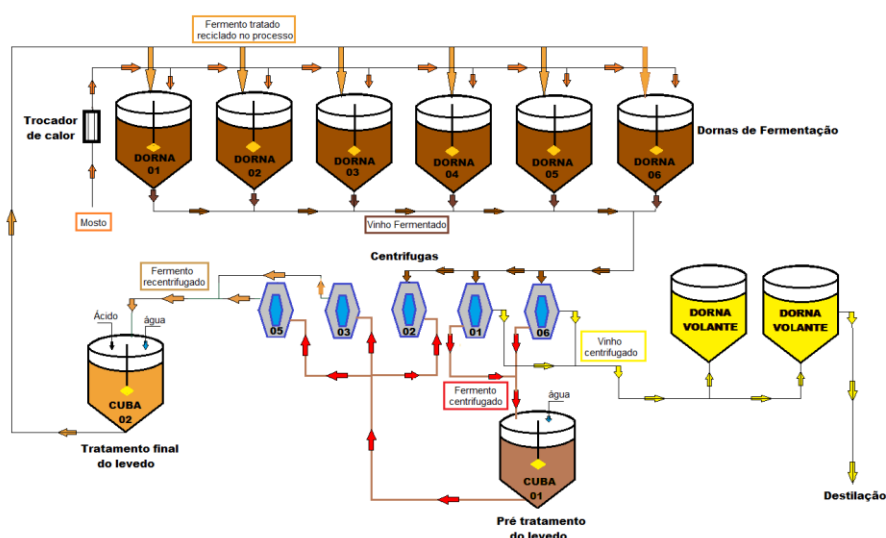


FIGURA 9 - Fluxograma de produção do álcool com adição da etapa de recentrifugação.

O fermento centrifugado e uma pequena parte de vinho, que não é separada na primeira centrifugação, caem nas bocas de coleta sendo encaminhado para a cuba 01 (Figura 10), sendo este diluído com água em agitação constante. Após é retornado para as centrifugas onde sofrerá a recentrifugação, havendo assim uma centrifugação mais eficiente, separando o restante de vinho ainda presente no fermento.



FIGURA 10 - Boca de descarga do fermento centrifugado.



Após é encaminhado para a Cuba 02, onde sofrerá o tratamento final. Nesta etapa se faz a adição de ácido sulfúrico e diluição em água com agitação constante, posterior será encaminhado para uma dorna de fermentação para ser reutilizado como pé-de-cuba em uma nova fermentação (Figura 11).



FIGURA 11 - Tratamento final do levedo na cuba 2.

#### 4.1 CÁLCULOS UTILIZADOS

O rendimento da produção em etanol é o rendimento da produção de etanol com relação a quantidade de ART consumida, é dada pela formula a seguir:

$$Y_{P/S} = \frac{EtOH}{ART_{MOSTO} - ART_{VINHO}} \quad (4.1)$$

Onde:

$Y_{P/S}$ = rendimento em produção de etanol, em grama de etanol / grama de ART consumidos;

EtOH= teor alcoólico do meio fermentado, em g/100 mL;

$ART_{MOSTO}$ = teor de ART do mosto, em gramas de ART / 100 mL;

$ART_{VINHO}$ = teor de ART do meio fermentado, em gramas de ART / 100 mL.

O cálculo da produtividade é uma grandeza cinética onde expressa a velocidade média de produção do álcool, sendo esta descrito na fórmula a seguir

$$P_{e\text{tan ol}} = \frac{C_{e\text{tan ol}_7}}{t} \quad (4.2)$$

Onde:

$P_{\text{etanol}}$  = Produtividade de etanol (g/L.h)

$C_{\text{etanol}}$  = Concentração de etanol (g/L) ao final da fermentação na dorna volante

$t$  = Tempo operacional da dorna (carga, fermentação e descarga)

#### 4.2 INICIO DA FERMENTAÇÃO

As linhagens de fermento utilizado na usina para se dar o start na fermentação no início da safra é obtido em pacotes fechados, sendo elas: Fleischmann e Pedra 2. São utilizadas três cubas com 200 Kg de fermento cada. Esse fermento é diluído com um metro de altura da cuba com água quente á 33 °C, após aguarda-se 30 minutos e faz a adição de 200 g de antibiótico KAMORAM HJ<sup>®</sup>, posterior no meio da fermentação e no fim. O Brix do início da alimentação começa bem baixo aproximadamente 2,4<sup>o</sup> Brix. O acompanhamento da fermentação é realizada a cada 15 minutos onde faz leitura da temperatura e do Brix, até a repetição consecutivas de três Brix.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

À centrifugação do vinho fermentado é aplicado com o objetivo de recuperar o fermento de uma fermentação anterior e reintroduzi-la nas fermentações subsequentes, já a recentrifugação feita no fermento é para conferir maior pureza, concentração e qualidade. Vários parâmetros foram avaliados para quantificar a importância da adição dessa etapa de recentrifugação do fermento.

Os resultados trabalhados foram das safras de 2002/2003 e 2003/2004, os estudos dos resultados foram referentes à dorna de fermentação onde os dados analisados foram a viabilidade da levedura, o número de células vivas e mortas presentes nas dornas. Análises do vinho centrifugado onde quantificamos a perda de fermento. E do tratamento final do levedo sendo avaliadas a viabilidade da levedura, pH, teor alcoólico, número de células vivas e mortas.

### 5.1 DORNA DE FERMENTAÇÃO

#### 5.1.1 Viabilidade celular

A viabilidade celular da levedura *S. cerevisiae* na dorna de fermentação está demonstrada na Figura 12 onde mostra a diferença dos resultados após a adição da etapa de recentrifugação do fermento. Observa-se que na safra de 2003, onde já se fazia a utilização da recentrifugação, a viabilidade da levedura se encontra em valores maiores quando comparada com a safra anterior, 2002. Segundo Souza (2009) quanto maior for o valor da viabilidade melhor o desempenho do processo, ou seja, quanto mais perto de 100 % melhor.

No decorrer dos meses da safra de 2002 observa-se uma diminuição gradativa, sendo que no mês de abril, início da safra, a viabilidade da célula era aproximadamente 74 % e no último mês da safra esse valor chegou a aproximadamente 54 %, uma queda de 20 % na viabilidade celular. Essa queda ocorre devido ao reciclo das células no processo que com o decorrer do tempo aumenta a contaminação bacteriana (ZAR, 2010) produzindo grandes quantidades de ácidos láctico inibindo o crescimento da levedura, pois prejudica a sua viabilidade celular (NOBRE, 2005).

Ao analisarmos os meses da safra de 2003 também se observa uma diminuição na viabilidade, mas sendo essa menos perceptível que a do ano anterior, quando que no mês de abril era de aproximadamente 85 % e no final, no mês de setembro, aproximadamente 81 %, uma queda de apenas 4 %.

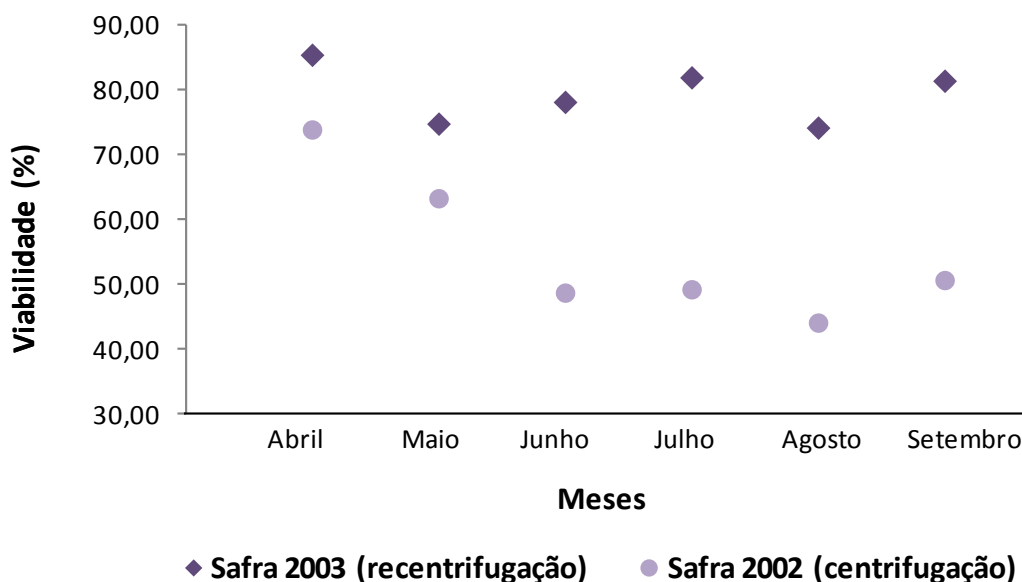


FIGURA 12 - Influência da recentrifugação na viabilidade da levedura.

Se analisarmos um mês das duas safras que possui a maior viabilidade celular e diminuirmos pelo mês que possui a menor viabilidade, obtém-se que em 2002 a perda da viabilidade aumenta para 30 % e no ano de 2003 esse valor vai para aproximadamente 10 %, sendo este ainda bem menor quando comparado com o ano de 2002.

#### 5.1.2 Número de células vivas

Segundo a revista de Bioenergia (LEMOS, 2012) a redução no número de células vivas no final do processo se deve ao aumento na concentração de metabólitos presentes no meio, sendo eles: etanol, ácidos,  $\text{CO}_2$ , redução na quantidade de açúcar e de nutrientes.

É de mera importância que haja células viáveis para que as próximas fermentações, pois o processo de obtenção do álcool combustível e por reciclo de



células, mantendo assim melhor conversão dos carboidratos presentes, tendo aumento no rendimento alcoólico (Figura 13) (NOBRE, 2005).

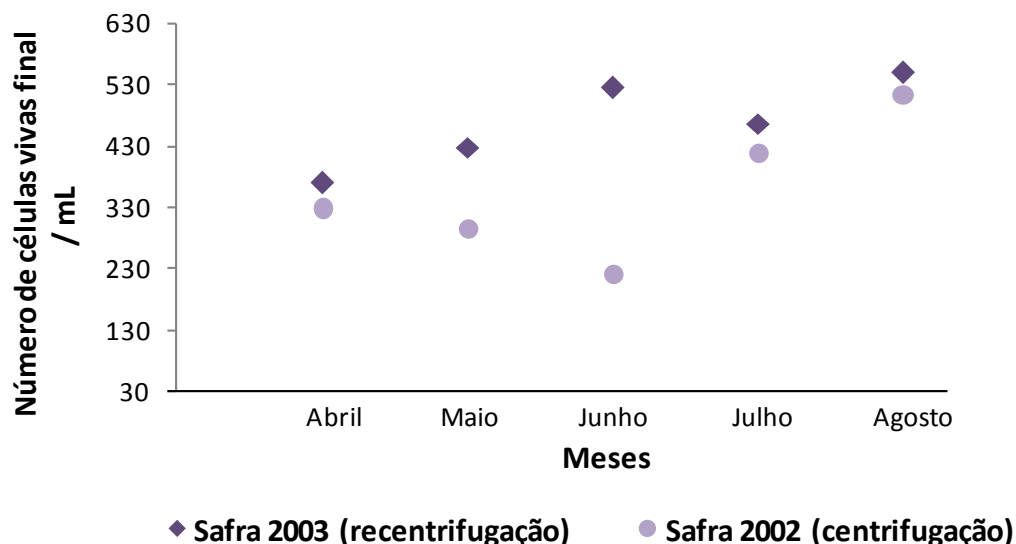


FIGURA 13 - Quantidades de células vivas presentes na dorna de fermentação.

Como mostra a Figura 13 acima teve-se um leve aumento na quantidade de células vivas presentes no meio fermentativo. Somente no mês de junho que a diferença entre os anos foi maior, mas nos outros meses os valores foram bem próximos.

### 5.1.3 Número de células mortas

Esse resultado refere-se a quantidades de células mortas encontradas no final do processo de fermentação. Esse valor está inteiramente ligada com a quantidade de células vivas presentes no processo, quanto maior a quantidade de células vivas presentes menor a quantidade de células mortas.

Segundo Nobre (2007, p. 24) a morte das células é devido à presença de substâncias tóxicas liberados pelas células bacterianas, promovendo a lise ou inibindo o desenvolvimento do fermento. Ou seja, quanto menor a quantidade de células mortas no meio significa menor presença substâncias tóxicas excretadas pelas células bacteriana, e menor presença desta no meio fermentativo.

Foi alcançado com a adição da recentrifugação, pois se observa na Figura 14 uma diminuição nas quantidades de células mortas presentes no meio fermentativo.

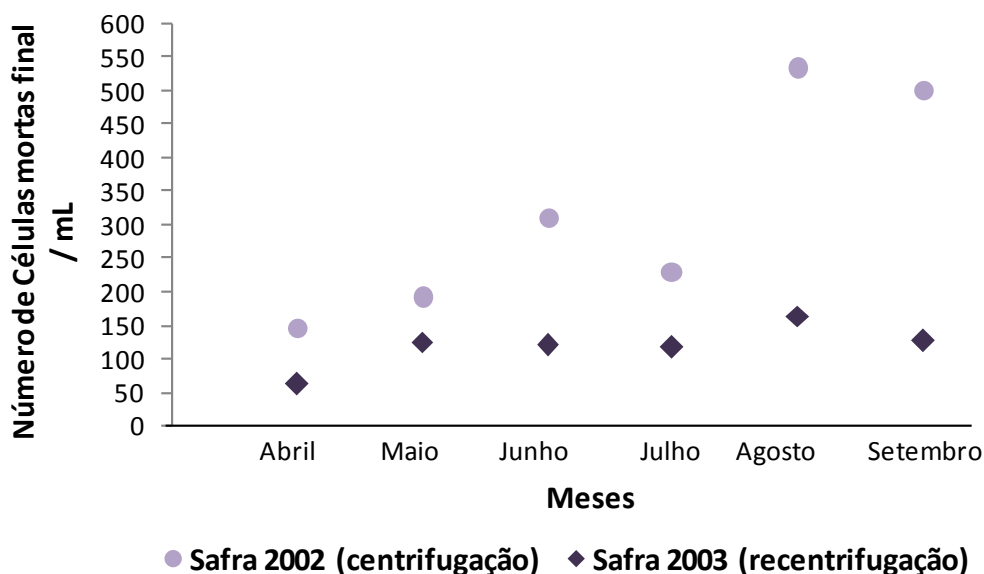


FIGURA 14 - Quantidade de células mortas presentes na fermentação

Nota-se que a diferença entre os meses foram aumentando drasticamente, e que na safra de 2003 não passa de 150 o número de células mortas. Já na safra de 2002 esse número não foi menor que 150 a quantidade de células mortas encontradas no processo de fermentação.

## 5.2 FERMENTO CENTRIFUGADO

### 5.2.1 Perda de fermento

Indica quantidades de células que está sendo perdida, havendo possibilidades de diminuir a massa celular no processo (BASSETO, 2006).

Essa perda é a porcentagem de células no vinho centrifugado, ou seja que esta entrando na dorna volante, Basseto (2006, p. 60) traz que quanto menor a quantidade de fermento encontrado no vinho, melhor a centrifuga utilizada, sendo a perca decorrente do mau processo de centrifugação.

Quando analisamos a Figura 15 abaixo, percebe-se que na safra de 2002 a porcentagem de perda de fermento das centrifugas e bem maior da encontrada na safra de 2003, observa-se também que nesta ultima safra não se encontra grandes variações, permanecendo praticamente estável.

A literatura traz que a porcentagem ideal de fermento do vinho seria de no máximo de 0,5 %, sendo inferior a esta melhor. (BASSETO, 2009).

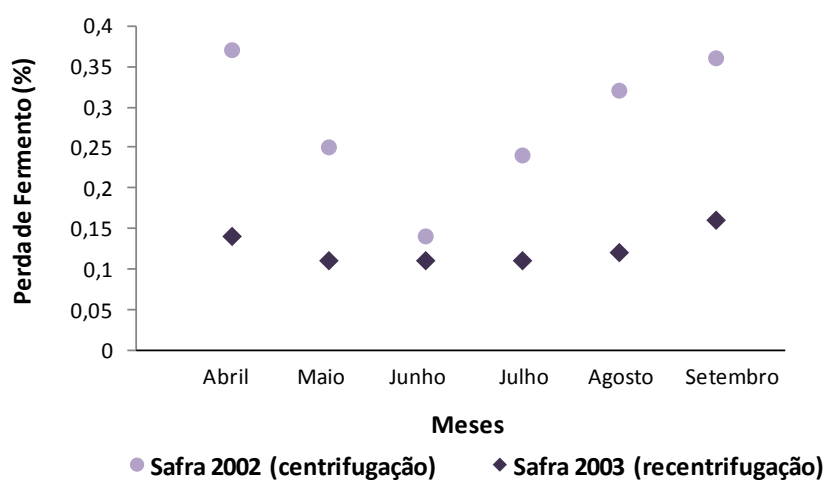


FIGURA 15 - Perda de fermento em porcentagem entrando na dorna volante

Zar (2010, p. 21) traz em seu trabalho que a perda de fermento pode ser decorrente de contaminantes naturais da fermentação sendo esta as bactérias floculantes.

Uma das grandes importâncias de se avaliar a perda do fermento, não é somente pelo fato de diminuir a massa de células presentes no processo, mas como também pelo fato de posteriormente este vinho sofrer a destilação, podendo causar danos as colunas de destilações, como acúmulo de incrustações nas bandejas causando entupimentos, deixando a destilação menos eficiente.

Neste caso, mesmo antes da adição da recentrifugação no processo, estes valores de perda de fermento encontravam-se inferiores ao recomendado pela literatura.

### 5.3 TRATAMENTO FINAL DO LEVEDO

#### 5.3.1 Teor alcoólico

Fator de grande importância quando diz respeito à viabilidade da levedura, pois altos teores de etanol presentes no meio podem inibir o crescimento celular levando a lise da levedura. (MARQUES, 2004)

Quanto menos o teor alcoólico dentro da cuba de tratamento da levedura, melhor a viabilidade da mesma. Para que diminua o teor alcoólico do fermento recém centrifugado se faz a diluição em água, de uma concentração de 1:1 (BASSETO, 2006). É demonstrado por Marques (2004, p. 533), em seu estudo ele traz que um teor alcoólico de 6,8 % v v<sup>-1</sup> não é suficiente para causar inibição significativa nas leveduras e que apenas superior a 7,2 % v v<sup>-1</sup> podem causar inibição no crescimento celular.

A Figura 16 mostra que na recentrifugação, os valores de teor alcoólico se encontra muito inferior ao citado pela literatura.

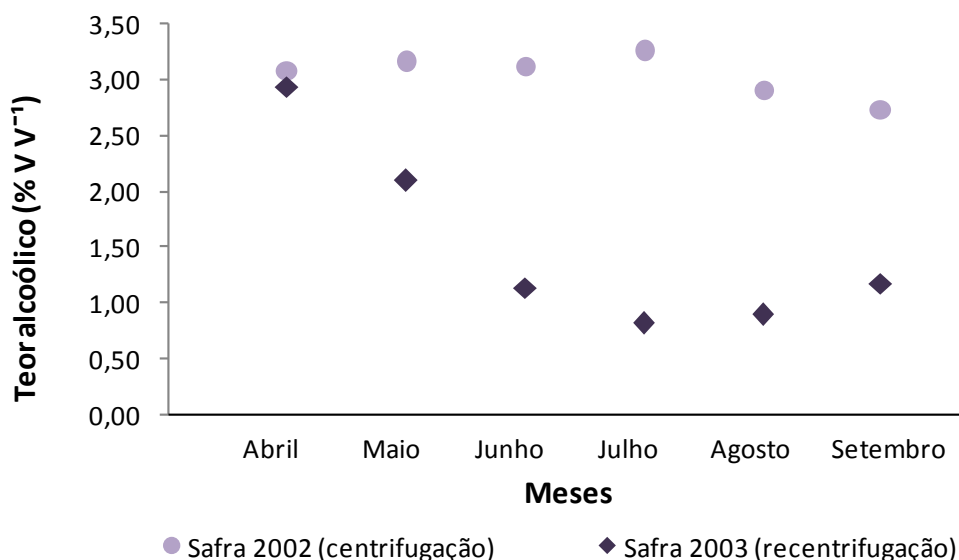


FIGURA 16 - Teor alcoólico presente no tratamento final do fermento

E observa-se que este valor foi decaindo mensalmente, sendo resultados positivos para a viabilidade do fermento. Deixando clara a importância de ter sido adicionada a etapa de recentrifugação do fermento no processo, mesmo na safra de

2002 já ter um teor baixo, quando comparamos com a Figura 17, a viabilidade do fermento se encontra em melhores condições na safra de 2003.

### 5.3.2 Viabilidade celular

Segundo Marques (2004, p 532), a viabilidade celular é comprometida pela presença de elevadas porcentagens de teores alcoólicos, onde os alcoóis etílicos são sintetizados em pequenas quantidades pelo metabolismo das leveduras e o etanol afeta a membrana lipoprotéica das mesmas. Sendo provada pelas Figuras 16 e 17 pois nos mostra que após a recentrifugação do fermento teve uma diminuição gradativa no teor alcoólico e tendo como consequência um aumento na viabilidade da levedura.

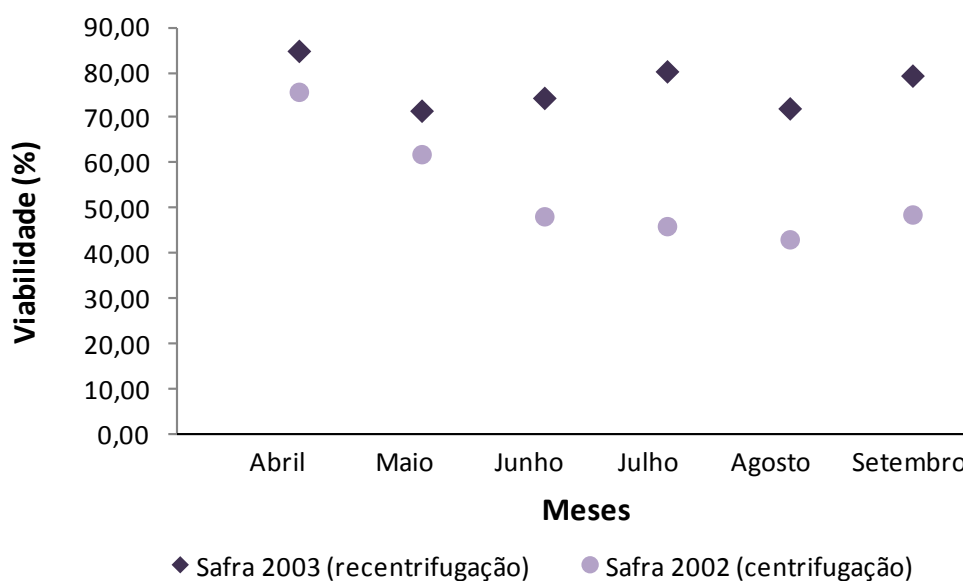


FIGURA 17 - Viabilidade celular no tratamento final do fermento

Mas também não só como o teor alcoólico, outros fatores como pH, contaminação bacteriana, floculação, temperatura entre outros fatores que podem comprometer a viabilidade celular inviabilizando o processo (NOBRE, 2007; CASADEI, 2012; ZAR, 2010).

### 5.3.3 pH

Essa análise é realizada na cuba 2, onde recebe o fermento centrifugado e recentrifugado. Essa etapa o fermento sofre a diluição em água na concentração de 1:1. Posteriormente esse fermento será reutilizado como um novo inóculo para uma nova fermentação. Para se fazer a correção de pH utiliza-se o ácido sulfúrico.

Lima *et. al.* (2001) citado por Souza (2008, p. 12) diz que o pH quando feito o reciclo de células por centrifugação no tratamento de células é de 2,2 até 3,2. Observa-se que os valores obtidos no tratamento dos dados mostrado na Figura 18 se encontram na maioria dos meses, exceto no início da safra, se encontraram na faixa daqueles trazidos pela literatura.

Mas a Unidade industrial, onde foram coletados os dados, tem a preferência de se trabalhar com o pH na faixa de 2,10 a 2,30, sendo o ideal de 2,20. Esses valores baixo, quando comparados com a literatura, se dá pelo fato de unidade fazer a recentrifugação com isso diminui a acidez e também o teor alcoólico do pé-de-cuba devido ao fato das duas lavagens realizadas, fazendo com que haja uma diminuição dos efeitos agressivos que eles exercem na parede celular das células das leveduras.

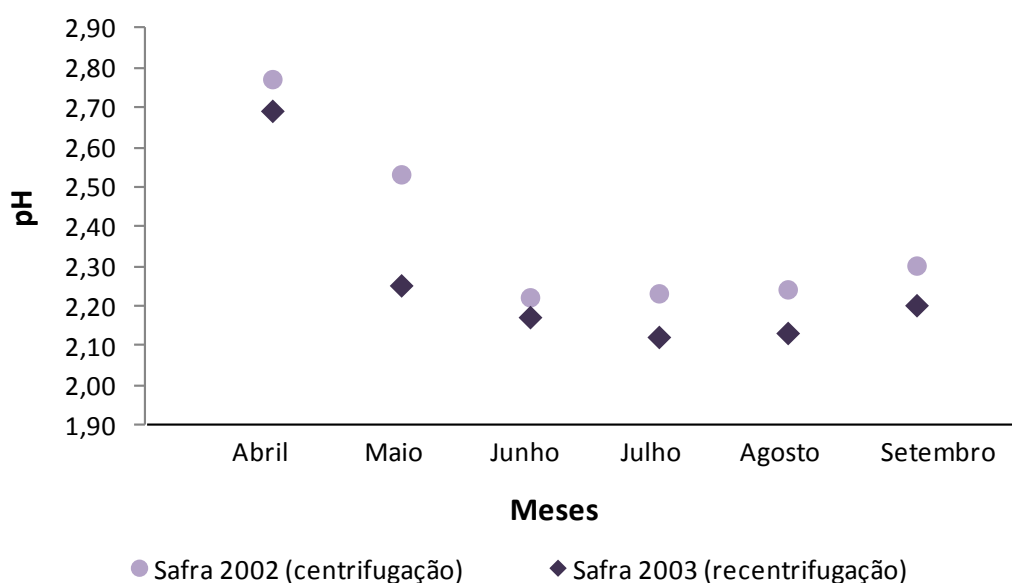


FIGURA 18 - pH presente no tratamento final do fermento

Souza (2004, p. 898) traz em seu estudo que a diminuição de pH, dispersou as células de leveduras e também as bactérias, melhorando a floculação e prolongando o tempo de sedimentação tornando-as mais adequadas para fermentação nas indústrias de produção de álcool.

O ácido sulfúrico age como antisséptico contra contaminações bacterianas e segundo Casadei (2012, p. 23) é o método mais utilizado para bactérias contaminantes. Galo e Canhos (1991a) citado por Casadei (2012, p. 23) observaram em seu estudo uma diminuição de aproximadamente 44 % de bactérias contaminantes presentes no fermento tratado por 2 horas com pH de 2,0, na cuba de tratamento.

#### 5.3.4 Número de células vivas inicial

Assim como na fermentação, no tratamento final do levedo se faz a contagem de células vivas presentes no meio. Esse tratamento final do levedo, realizado na cuba 2, posterior será reutilizado para uma nova fermentação, devido a isso o nome de células vivas inicial.

A quantidade de células vivas no meio está influenciada com presença de bactérias lácticas, devido estas causarem aumento na acidez no meio pela produção de ácido láctico e acético causando inibição no crescimento e metabolismo das células (NOBRE, 2005).

Então quanto maior a quantidade de células vivas no meio fermentativo, melhor e mais eficiente ocorrerá a fermentação, devido ao ótimo metabolismo e crescimento de células no meio fazendo a conversão de açúcares em etanol, havendo uma maior utilização dos carboidratos presentes, havendo um aumento no rendimento alcoólico (NOBRE, 2005).

Na Figura 19 mostra que se teve um sucesso nos quatro primeiros meses na quantidade de células vivas no tratamento final do levedo, que posterior será utilizada para uma nova fermentação. Mas nos dois últimos meses da safra de 2003 este valor se tornou menor, isso pode ter ocorrido pelo fato de ser fim de safra, onde as células já estão esgotadas.

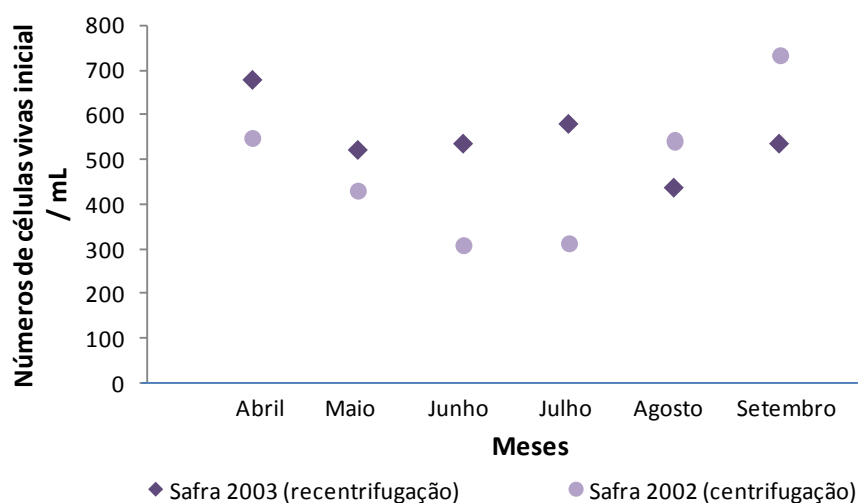


FIGURA 19 - Quantidades de células vivas após o tratamento final

Segundo traz Lemos (2012), esse fato pode ter tido uma elevada contaminação bacteriana influenciada pela má qualidade da matéria prima empregada no processo, que contribui para o aumento da população de contaminantes. Ou por um erro de análise, nas contagens das células.

#### 5.3.5 Número de células mortas

Não diferentes dos outros resultados, a Figura 20 mostra resultados satisfatórios, quando comparamos as duas safras. Observa-se que a diferença entre as safras foram aumentando a cada mês.



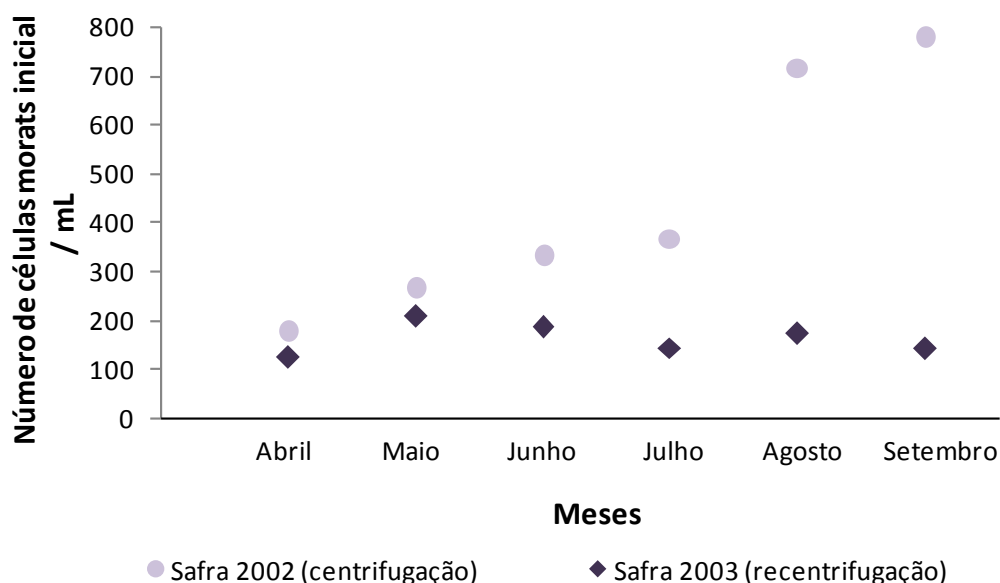


FIGURA 20 - Número de células mortas no tratamento final do levedo

Na safra de 2003 o valor não passa de 200 células/mL, já na safra de 2002 apenas no mês de abril, início da safra, se encontrava em um valor abaixo de 200 células/mL, nos outros meses os valores foram acima deste.

Sendo possível observar que tenha diminuído a quantidade de bactérias contaminantes no processo, pois são estas que causam a inibição ou até mesmo a morte das células fermentativas (NOBRE, 2007).

## 5.4 PARÂMETROS DO PROCESSO

### 5.4.1 Rendimento da fermentação

De acordo com Casadei (2012, p. 7) o rendimento da fermentação e a produtividade são afetados por presença de elevada concentração de contaminantes no meio.

Esses contaminantes acarretam inúmeras mudanças sendo elas: formação de goma; floculação do fermento; inibição e queda da viabilidade da levedura devido as toxinas e ácidos orgânicos presentes no meio.

Mesmo a viabilidade da levedura ter melhorado com o processo de recentrifugação a produtividade não possui bons valores, não passando de 6 g/L.h

(Figura 22) Pacheco (2010, p. 21) mostra em seu trabalho uma produtividade de 7,9 g/L.h, quando o melaço é utilizado como matéria prima.

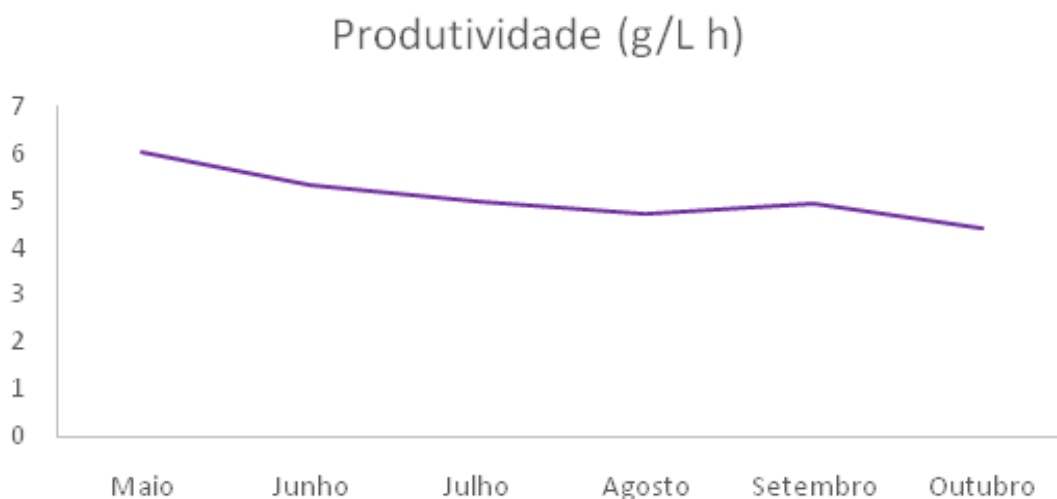


FIGURA 21 - Produtividade de álcool referente à safra de 2003/2004

Sendo essa questão levada em consideração, pois é utilizado para a alimentação das dornas o melaço, proveniente da fabrica de açúcar. O que não podemos dizer é se a recentrifugação auxiliou no aumento da produtividade, devido ao fato de não se ter os dados da safra anterior, 2002/2003.

Para o rendimento da fermentação Pacheco (2010, p. 58) sugere que as destilarias operam com 87 %, como mostra a Figura 23, o rendimento da fermentação encontra-se muito baixo quando comparado com a literatura.

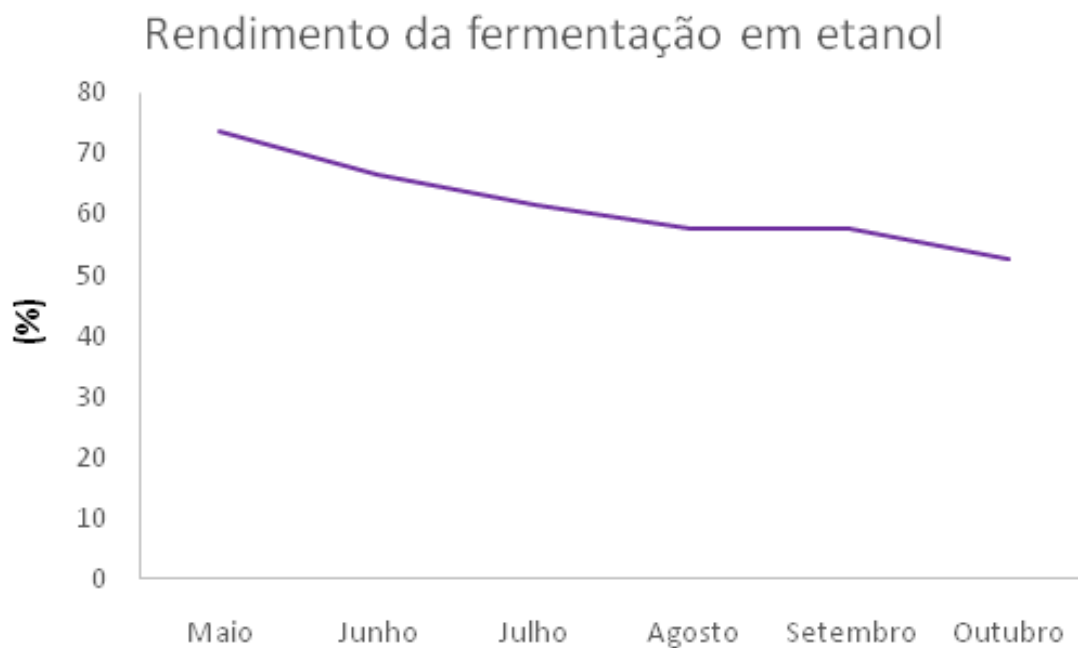


FIGURA 22 - Rendimento da fermentação referente à safra de 2003/2004

Levando em consideração que o ponto forte da usina não é priorizar a produção do álcool, e sim do açúcar, contribuindo para o baixo rendimento. A produção do álcool seria um destino dado ao melaço proveniente da fábrica de açúcar.

## 6 CONCLUSÃO

Verificou-se que a recentrifugação do fermento diminuiu a contaminação bacteriana, devido ao fato de diminuir a diferença existente entre o primeiro e último mês da viabilidade, influenciando assim na produtividade em etanol.

Constatou-se que a contaminação bacteriana e perdas no rendimento em etanol tem correlação, pois cada molécula de açúcar direcionada para a produção de ácido láctico resulta em perdas de duas moléculas de etanol que poderia ser produzidas (NOBRE, 2005).

Quanto a perda do fermento a recentrifugação colabora e muito para a diminuição desse valor, não somente em questão da diminuição em massa desse valor no processo como também diminuindo possíveis danos ao processo.

Notou-se que a recentrifugação do processo é de extrema importância referentes a teores dos compostos tóxicos na fermentação, sendo estes produzidos durante a fermentação podendo ser acumulativos causando assim perdas na viabilidade da levedura, causando diminuição na produtividade industrial devido a baixa eficiência, sendo assim desfavoráveis para as usinas.

Observou-se que o número de células vivas e mortas iniciais e finais do processo melhorou após a adição da recentrifugação do fermento, e podemos concluir que houve a diminuição de contaminantes, já que este está fielmente relacionado com a morte das células devido à liberação de substâncias tóxicas.

A diminuição do pH no tratamento final do levedo, confere a levedura melhor qualidade, pois inibe o crescimento de bactérias contaminantes.

Quanto ao rendimento e produtividade, estes se mostraram com valores discrepantes, explicados pela tendência de queda de viabilidade devido ao uso contínuo do fermento.

Por fim, obteve-se que a recentrifugação do fermento trouxe ganhos para a usina, pois melhorou os parâmetros como diminuição de células mortas e o aumento de células vivas na fermentação, a diminuição no pH e no teor alcoólico. Com isso observou-se melhora na viabilidade celular, trazendo assim ganhos econômicos

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BASSETO, N. Z. **SEPPA**-Sistema especialista para planta de produção de álcool. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, 2006.

CASADEI, M. E. **Processos fermentativos a partir da cana-de-açúcar**. 39 f. Trabalho de graduação (Tecnologia em Biocombustíveis) – Centro Estadual de educação tecnológica Paula Souza, Faculdade de Tecnologia de Araçatuba, Araçatuba, 2012

FILHO, J. C. A.; PESSANHA, F. S. A. Otimização dos métodos tradicionais e busca de novas alternativas de obtenção de etanol visando a sua viabilidade. **Bolsista de Valor: Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF, Fluminense**, v. 2, n. 1, p. 245-251, 2012

LEMOS, E. G. M.; STRADIOTTO, N. R. **Bioenergia: Desenvolvimento, pesquisa e inovação**. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2012.

LIMA, L. da ROCHA.; MARCONDES, A. de ABREU. **Processo industrial na produção de álcool- Fermentação**. In.\_\_\_\_. Álcool comburante: Uma estratégia brasileira, p. 81-89.

MACHADO, C. M. M.; ABREU, F. R. Produção de álcool combustível a partir de carboidratos. **Revista de política agrícola**, Ano XV, n. 3, p. 64-78, Jul./Ago./Set. 2006.

MARQUES, T. A.; SERRA, G. E. Estudo da ciclagem de células na produção biológica de etanol. **Ciência Tecnológica de Alimento**, Campinas, v. 24(4), p. 532-535, out.-dez. 2004.

MOREIRA, B. A. **Produção de álcool combustível**. 39 f. (Trabalho de Graduação) – Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, 2008.

MOTOKANE, M. T.; ABREU, D. G. O processo de fermentação: transformações químicas e biológicas, 2005. Material pedagógico.

NOBRE, T. de P. **Viabilidade celular de *Saccharomyces cerevisiae* cultivada em associação com bactérias contaminantes da fermentação alcoólica**. 111 f. Dissertação (mestrado em ciências) – Ciências e Tecnologia de Alimento, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, São Paulo, 2005.

NOBRE, T. de P.; HORII, J.; ALCARDE, A. R. Viabilidade celular de *Saccharomyces cerevisiae* cultivada em associação com bactérias contaminantes da fermentação alcoólica. **Ciência Tecnológica de Alimento**, Campinas, v. 27(1), p. 20-25, jan.-mar. 2007.

OLIVEIRA, L. M.; SERRA, J. C. V.; MAGALHÃES, K. B. Estudo comparativo das diferentes tecnologias utilizadas para produção de etanol. **Geoambiente on-line**,

Jataí-GO, n. 19, jul-dez, 2012. Disponível em <<http://www.revistas.ufg.br/index.php/geoambiente/article/view/26058>>. Acesso em: 01/10/2013.

PACHECO, F. T. **Fermentação alcoólica com leveduras de características floculantes em reator tipo torre com escoamento ascendente**. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, 2010.

RIBEIRO, A. F. C.; BLUMER, S. A. G.; HORRI, J. Fundamentos de tecnologia sucroalcooleira: tecnologia do álcool. Piracicaba, 1999. Apostila didática.

SANTOS, A. M. **Fermentação alcoólica com levedura imobilizada em colmos de bambu e em fibra de coco**. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)- Universidade Federal de Alagoas, Maceió-AL, 2008.

SEJIMO, W. N. Obtenção do álcool anidro. 45 f. Trabalho de Graduação (Tecnologia em Biocombustíveis) – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, Faculdade de tecnologia em Araçatuba, Araçatuba, 2011.

SOUZA, C. S. **Avaliação da produção de etanol em temperaturas elevadas por uma linhagem de *S. cerevisiae***. 49 f. Tese (Doutorado em Biotecnologia)- Programa de Pós-graduação interunidades em Biotecnologia USP/ Instituto Butantan/IPT, São Paulo, 2009.

SOUZA, M. A. C.; MUTTON, M. J. R. Floculação de leveduras por *Lactobacillus fermentum* em processos industriais de fermentação alcoólica avaliada por técnica fotométrica. **Ciências Agrotec.**, v. 28, n. 4, p. 893-898, jul./ago., 2004.

ZAR, L. dos S. **Efeitos da contaminação bacteriana na viabilidade da levedura *Saccharomyces cerevisiae***. 38 f. Trabalho de Graduação (Tecnologia em Biocombustíveis)- Apresentado ao Curso de Tecnologia de Biocombustíveis, Faculdade de Tecnologia de Araçatuba, 2010